

# LXII OLIMPIADA FIZYCZNA

## ZAWODY II STOPNIA

### CZEŚĆ TEORETYCZNA

Za każde zadanie można otrzymać maksymalnie 20 punktów.

#### Zadanie 1.

Szkló ścianki akwarium ma niewielką grubość i współczynnik załamania  $n_s$ , natomiast współczynnik załamania wody wynosi  $n_w$ . Mała rybka pływa w odległości  $d$  od ścianki (jej wewnętrznej strony), oświetlona przez punktowe, izotropowe źródło światła, umieszczone tuż przy ścianie

- a) w wodzie,
- b) na zewnątrz akwarium.

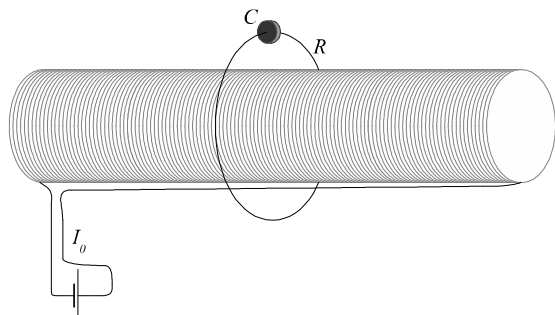
Przy przejściu światła z powietrza (poprzez ściankę akwarium) do wody jest pochłaniany ułamek jego początkowego natężenia równy  $1 - \eta$ , gdzie  $0 < \eta < 1$ . Pomiń pochłanianie światła w wodzie oraz jego odbicie na granicy ośrodków.

Ile wynosi  $I_b/I_a$  – stosunek natężeń oświetlenia rybki w obu przypadkach? Natężenie oświetlenia  $I$  definiujemy jako stosunek mocy padającego promieniowania do pola oświetlonej powierzchni.

Dla  $n_s = 1,50$ ,  $n_w = 1,33$ ,  $d = 0,2$  m,  $\eta = 0,7$  określ, w którym przypadku rybka jest lepiej oświetlona.

Prosta poprowadzona od źródła światła do rybki jest prostopadła do ścianki.

#### Zadanie 2.



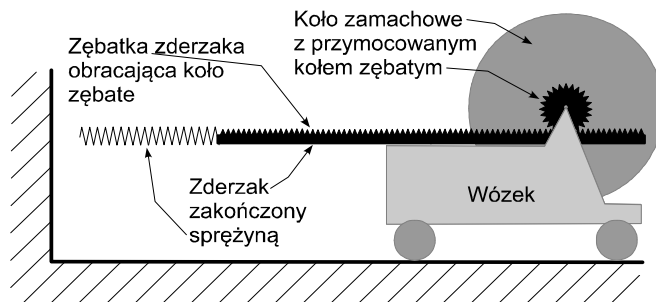
Rozważmy solenoid o promieniu  $r_1$  i długości  $l$  z nawiniętymi  $N$  zwojami drutu ( $N \gg 1$ ), przez który płynie prąd o stałym natężeniu  $I_0$ , oraz bardzo odległą od niego pętlę z drutu o oporze

$R$  i promieniu  $r_2$ , przy czym  $r_1 < r_2 \ll l$ . Obwód pętli zawiera kondensator o pojemności  $C$ , początkowo nienaładowany. Pętlę nałożono na solenoid (patrz rys.) w ciągu czasu  $T \ll RC$ .

Wyznacz wartość ładunku elektrycznego na kondensatorze natychmiast po przemieszczeniu pętli.

Pomiń pole magnetyczne wytwarzane przez pętlę.

#### Zadanie 3.



Wózek o całkowitej masie  $M$  posiada ruchomy zderzak zakończony sprężyną o stałej sprężystości  $k$  (patrz rysunek). Ruch zderzaka względem wózka powoduje (poprzez koło zębate o promieniu  $r$ ) obrót koła zamachowego o momencie bezwładności  $I$ .

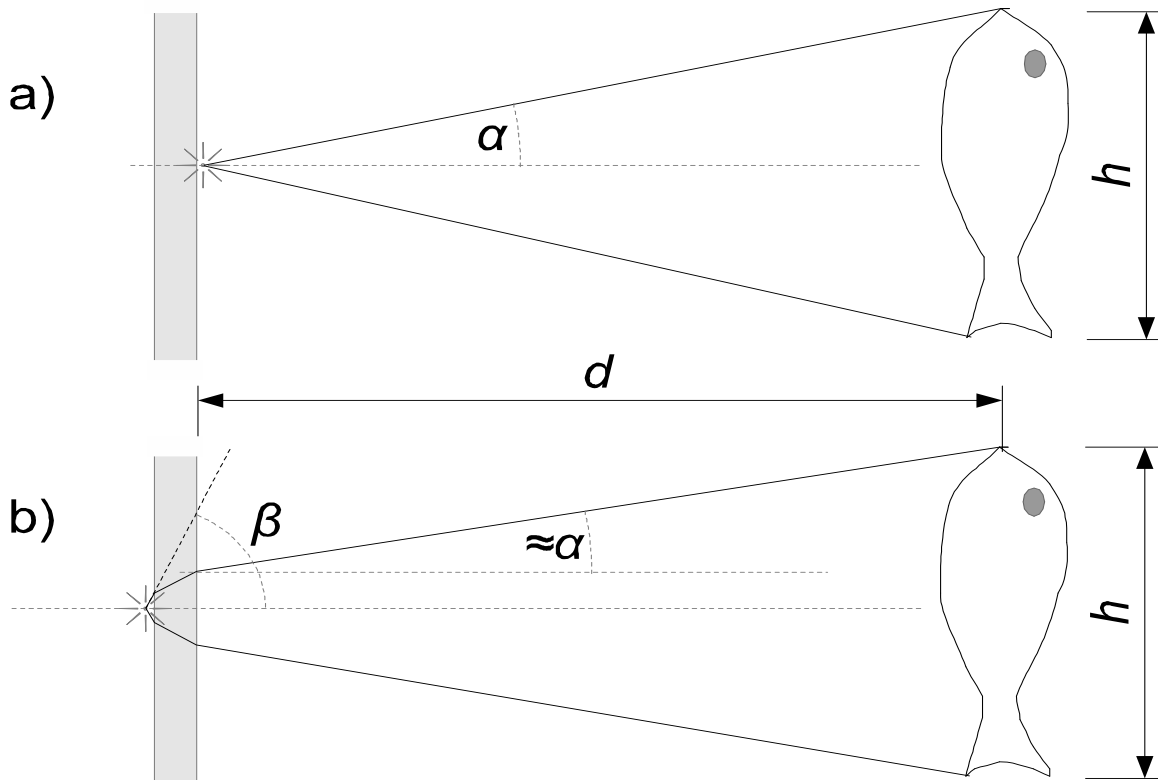
Wózek uderza z prędkością  $V_0$  w pionową ścianę. Wyznacz przyspieszenie wózka w zależności od czasu, jaki upłynął od chwili uderzenia zderzaka o ścianę.

Jaki warunek muszą spełniać  $M$ ,  $k$ ,  $I$ ,  $V_0$ ,  $r$ , aby wózek w pewnym momencie się zatrzymał?

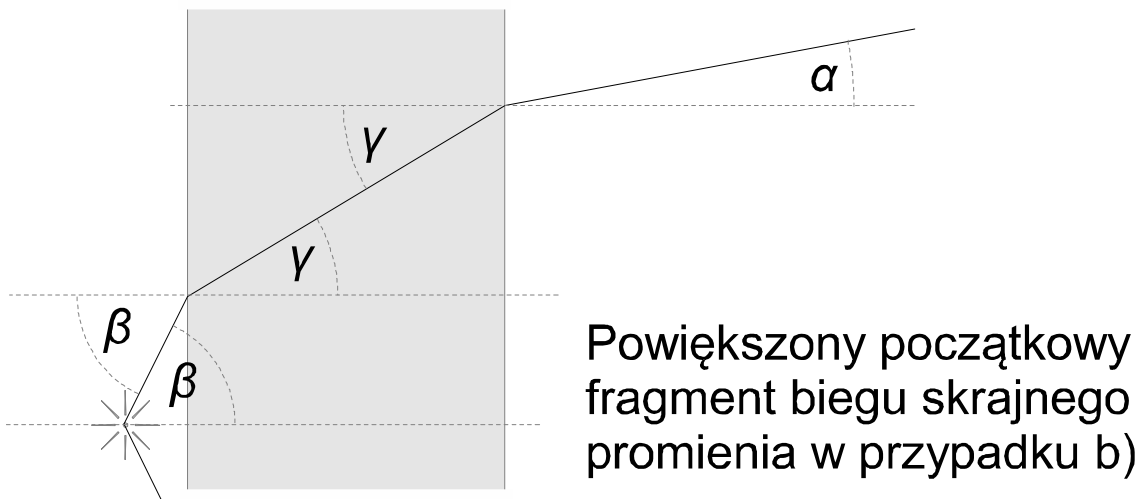
Pomiń tarcie, masę sprężyny i zderzaka oraz momenty bezwładności kół wózka. Początkowo sprężyna jest nienaładowana, a koło zamachowe nie obraca się. Oś obrotu koła zamachowego nie przesuwają się względem wózka. Masa  $M$  zawiera masę koła zamachowego.

Rozważ tylko sytuację, gdy zderzak wystaje poza krawędź wózka, a sprężyna nie ulega całkowitemu ściśnięciu (sprężyna i zderzak są wystarczająco długie) ani wyboczeniu.

### Rozwiązanie zadania 1



Rozważmy sytuację w rzucie na płaszczyznę prostopadłą do ścianki – jak np. na powyższym rysunku. Niech  $\alpha$  będzie kątem, jaki skrajny promień padający na rybkę tworzy z normalną do płaszczyzny ścianki akwarium. Ponieważ grubość szkła ścianki jest bardzo mała, w obu rozważanych przypadkach ten kąt jest w przybliżeniu taki sam. W sytuacji przedstawionej na rysunku jest on dany wzorem  $\alpha \approx \frac{h/2}{d}$ , gdzie wykorzystaliśmy fakt, że  $h \ll d$  (rybka jest mała). W przypadku a) kąt  $\alpha$  jest kątem, jaki tworzy rozważany promień z normalną do ścianki akwarium tuż po wyjściu ze źródła. W przypadku b) kąt  $\beta$ , jaki tworzy rozważany skrajny promień z normalną do ścianki akwarium tuż po wyjściu ze źródła, jest większy z powodu załamania – patrz rysunek poniżej.



Stosując prawo Snelliusa kolejno do załamania na granicy powietrze-szkło i załamania na granicy szkło-woda otrzymujemy (patrz rysunek powyżej)

$$\begin{aligned}\sin \beta &= n_s \sin \gamma, \\ n_s \sin \gamma &= n_w \sin \alpha.\end{aligned}$$

Zatem dochodzimy do wniosku, że

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \approx \frac{\beta}{\alpha} = n_w, \quad (1)$$

gdzie wykorzystaliśmy to, że kąty są małe (rybka jest mała). Zauważmy, że powyższy wzór obowiązuje również dla dowolnych innych skrajnych promieni padających na rybkę, np. jeśli rozważymy sytuację w płaszczyźnie prostopadłej do ścianki oraz płaszczyzny rozważanej dotychczas.

Ponieważ źródło jest izotropowe, natężenie oświetlenia rybki jest proporcjonalne do kąta bryłowego określonego przez te promienie wychodzące ze źródła, które następnie padają na rybkę. Ten kąt bryłowy w przypadku a) jest proporcjonalny do  $\alpha^2$ , natomiast w przypadku b) jest proporcjonalny do  $\beta^2$ . Uwzględniając, że przy przejściu z powietrza do wody część promieniowania jest pochłaniana, otrzymujemy

$$I_b/I_a = \eta \cdot (n_w)^2 \quad (2)$$

$$\approx 1,24 > 1. \quad (3)$$

Ponieważ w rozpatrywanym przypadku  $I_b/I_a > 1$ , rybka jest lepiej oświetlona w przypadku b).